干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

# 黄土高原半干旱区微尺度乡村人居环境系统脆弱性测度及时空分异
## ——以陕西省佳县为例

杨晴青[1]， 高岩辉[3]， 杨新军[2]， 吴孔森[2]
（1 陕西师范大学西北国土资源研究中心,陕西 西安 710119； 2 西北大学城市与环境学院,陕西 西安 710127； 3 西安外国语大学旅游学院·人文地理研究所,陕西 西安 710128）

**摘 要:** 从人地系统脆弱性视角着眼,基于65个样本点,451份入户调查问卷,65份村庄专题问卷,运用逼近理想解的排序法等方法探索了佳县1980—2017年微尺度乡村人居环境系统的时空分异过程。结论表明:(1) 乡村人居环境系统脆弱性均值已由0.66下降至0.45,空间差异度由3.99%大幅扩大至15.31%,呈现由空间重度脆弱的均衡状态分化至中低脆弱为主体,24.62%的村庄仍处于高脆弱状态的格局。(2) 居住、自然、社会子系统脆弱性显著减轻,均值分别下降至0.38、0.42、0.47,居住子系统仅余1.54%的高脆弱村庄。支撑、人类系统脆弱性均值保持或上升至0.54以上的高位,高脆弱村庄比重均超过2/3。(3) 居住、自然、社会子系统由高脆弱样本村全局覆盖演化至低脆弱样本村广泛分布,而人类系统呈现由低中脆弱样本村相间分布演化至高度脆弱样本村全局覆盖的时空格局。支撑系统空间格局动荡,低脆弱等级仅集中分布于交通干线沿线、行政中心驻地样本村。

**关 键 词:** 乡村人居环境系统；脆弱性；时空格局；TOPSIS模型；佳县
**文章编号**



人居环境科学是吴良镛先生等人在道萨迪亚斯的人类聚居学理论启发、借鉴下发展而来,着重研究人类聚居系统[1]。改革开放以来,黄土高原地区经济发展与基础设施建设虽取得一定成效,逐渐走向开放通畅,但因地形条件、生态环境、资源禀赋等限制,地方经济始终羸弱,乡村转型缓慢。同时,城市化对传统乡村的冲击又使得人力资本等要素持续流失,乡村人口老弱化,商业网点逐渐撤离,人居环境脆弱性突显。《农村人居环境整治三年行动方案(2018)》指出改善农村人居环境,建设美丽宜居乡村,是实施乡村振兴战略的一项重要任务。国内外学术界同样对乡村人居环境系统给予了较大关注,围绕乡村人居环境系统时空状态评价形成了丰富成果。宏观尺度主要关注综合质量、自然适宜性水平的时空变化[2-4],少数学者讨论了宏观尺度生态脆弱、生态功能区域的人居环境演变及机理[3,5]。中微观尺度关注生活质量、社区满意度[6-10],或侧重于对传统村落、旅游地人居环境演变问题开展定性分析[11-12]。目前,“指标—评价”模式的案例研究成果多基于宏观社会—经济统计数据,缺少具有地面真实特征、关注“人的体验”的时空微观数据。微尺度更多的将人居环境建设视为一项工程,关注于人居环境硬件及其具体形态,而基于面板微观数据的乡村人居环境系统时空过程研究薄弱。

脆弱性指暴露于风险、扰动或压力之下的系统可能遭受的损害程度[13],现已逐渐成为全球环境变化、可持续性科学及人地系统的一种新的研究视角和重要的分析工具。在人地系统脆弱性领域形成

**收稿日期:** 2019-11-04； **修订日期:** 2020-03-29
**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41771574, 42001202, 41831284)
**作者简介:** 杨晴青(1992-),女,湖南益阳人,讲师,博士,研究方向为人居环境与区域可持续发展。E-mail: yqq@mails.ccnu.edu.cn
**通讯作者:** 杨新军(1972-),男,陕西扶风人,教授,博士,博士生导师,研究方向为旅游地理学与人地关系的社会生态系统整合
E-mail: yangxj@nwu.edu.cn

了系列成果。一是，涌现了较多具有代表性的脆弱性分析框架或评估体系，如TURNER等[13]提出了人—环境耦合系统分析框架。二是，关注点由自然扰动转向移民搬迁、产业转型等人文扰动，围绕社会-生态系统[14-15]、城市系统[16]、人—环境耦合系统[17-18]等典型人地系统脆弱性状态及影响因素展开案例研究。同时，多重扰动背景下城乡人居系统的脆弱性问题开始引起学者关注[19-21]。当然，国内关于人地系统脆弱性的研究起步较晚，尚未形成系统化的知识体系。现有的研究成果多基于可持续生计框架开展生计、社会-生态系统脆弱性研究，而对于多重扰动下特定类型的人地系统或乡村可持续性的关注度仍不够。服务于国家重大战略需求是脆弱性理论发展的重要实践，文章将关注以生态脆弱、经济贫困为典型特征的黄土高原半干旱区，以陕西省佳县为研究区，利用451份入户调研问卷以及65份村庄专题问卷等，基于65个样本点，4个历史时期，探讨1980—2017年间自然条件、人类活动等多重扰动下的微尺度乡村人居环境系统时空演变，以期为黄土高原半干旱区的乡村人居环境"对症下药"、乡村振兴国家战略提供理论支撑。

## 1 研究区概况与数据获取

### 1.1 研究区概况

佳县属陕西省榆林市，土地总面积2 029.3 km²。2017年，全县辖12镇1个街道办事处，8个社区，330个行政村，总人口26.97×10⁴人。属大陆性干旱半干旱气候，降水主要集中在7～9月，年平均降水量386.6 mm，旱涝、雹、滑坡等自然灾害频发。地势西北高，东南低，地形复杂，形成了北部风沙区，西南丘陵沟壑区和黄河沿岸土石山区3类地貌差异明显的区域。红枣产业为全县商品经济的重要支柱，也是农户务农生计的主要来源，至2017年，枣林面积占国土面积的26.59%，人均0.2 hm²。文章针对研究区13个镇，采用分层随机抽样，每镇选择5个样本村，并以行政村村民委员会驻地为样本点，通过GPS采集经纬度，最终确定了65个样本点（村庄），分布见图1。

### 1.2 历史时期确定

2017年10月22～29日，研究团队前往研究区佳县进行第一次田野访谈，针对3类地貌区，每类抽取3个镇，每镇抽取3个村庄，每个村庄选择2位关

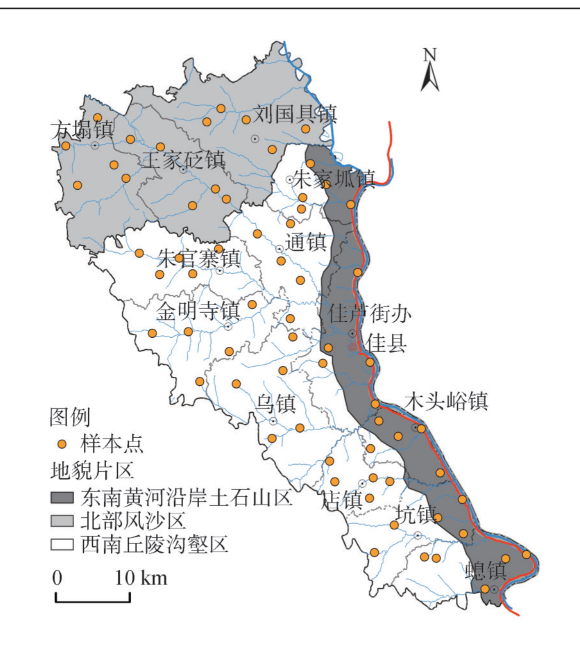



图1 研究区调研样本点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of survey sample points in study area

键人物(乡村能人、村干部等)进行30～40 min的访谈，本次调研共收到有效访谈录音52份。通过对提纲问题之"1980年以来村庄或居住地各领域有何变化?"、"上述变化发生的原因？农户或地方政府是否有推动变化?"进行录音文本化，分析得出1980年以来佳县乡村人居环境状态变化与家庭联产承包责任制推行、退耕还林还草项目、村村通工程、新型农村合作医疗工作等关键性事件联系密切[19]。其中，1980年家庭联产承包责任制全面实行，土地以耕地利用为主，20世纪80年代研究区乡村人居环境系统状态较稳定[19]。2000年，退耕还林工程有效改善了当地自然生态环境，移民搬迁工程促使移民户（村）的居住环境发生根本变革。2007年4月初，陕西省将佳县列为新型农村合作医疗项目县，2008年始佳县开始在全县开展新农合工作，自此农村医疗保障、养老保障等福利政策经历从无到有的过程。综上，本文将上述农村关键事件发生年或年代为研究的历史时期，即1980s，2000年，2008年。

### 1.3 数据获取

乡村人居环境系统脆弱性定量测度数据主要源于2018年7月16日～8月2日开展的实地入户与村庄专题问卷。针对65个样本点，每个样本点抽样7户居民，共获得问卷455份，有效问卷451份，有效率99.1%。受访者年龄分布如下，80岁及以上有11人，70～79岁有94人，60～69岁有155人，50～59岁

有125人，40～49岁有49人，30～39岁有16人，25岁受访者1人。通过关键人物(50岁以上的村干部、乡村能人)座谈，每个样本点形成1份有效的村庄专题问卷，最终收获有效村庄专题问卷65份，访谈录音61份。

为力求农户、关键人物回忆清晰、准确，保证不同农户间指标数据的准确性、可比性，历史时期的内容多设置为可用5点量表测度的感知类问题。同时，问卷调查中选择了回忆引导词或让受访者回忆至相应年龄进行提示，最后由调研人员按照统一口径进行录入。其中，历史时期1为1980s，回忆性引导词为“家庭联产承包责任制刚刚推行时”“30年前”“80年代”。时期2为2000年，回忆性引导词为“世纪之交”“退耕还林(草)项目试点工作开展”。时期3的代表年份为2008年，回忆引导词为“2008年北京奥运会”“新农合工作”。时期4即为2017年的实际情况。入户及专题问卷调查内容包括:(1)家庭基本情况、不同阶段人口结构与生计来源。(2)乡村人居环境子系统状态，包括自然系统(土地利用、自然灾害、生态状况等)、居住系统(居住区环境、住房更新、住房结构与设施等)、支撑系统(基础设施与公共服务等)、人类系统(村庄人口状况、个体行为与心理感知等)、社会系统(社会交往、村庄发展与贫富差距、政府服务、治安环境等)。每份调查问卷时长控制在45～60 min之间。

此外，县级行政区、水系等空间矢量数据采用全国地理信息资源目录服务系统1:100万全国基础地理数据库2017年份底图(www.webmap.cn)，各时间截面乡(镇)行政区边界、驻点、交通路网均来源于历史地图等资料。

## 2 评估框架与方法

### 2.1 微尺度脆弱性测度指标体系

乡村人居环境的实质是人地关系的地域表现形式，结合人地系统脆弱性概念及内涵[13-15]，文章将乡村人居环境系统脆弱性理解为暴露于内外部自然和人文要素扰动下，乡村地域内居民居住、生活及基本生产活动等相关环境，由于自身的敏感属性以及适应能力的不足，而使系统(子系统或系统组分)容易受到负面影响或损害的状态。其中，自然、人类、居住子系统多具有敏感—暴露属性，支撑、社会子系统多具有适应能力方面的特性。

以县域尺度乡村人居环境脆弱性测度指标体系为基底[19]，参考微观尺度人居环境综合质量评估的指标选择[1,8-11]，对预调研中52份有效访谈录音进行词频统计，筛选突出微尺度人居环境特征，注重农户的行为、心理及体验的因子层。并为因子层选择适用于样本点时空可比的量化指标，并确定指标方向。最后，遵循指标体系建立的科学性、针对性原则，构建了一套适应于微尺度时空评价的乡村人居环境系统脆弱性测度指标体系(表1)。

### 2.2 数据处理

抽样调查中非类型变量可能存在异常值，文章借用箱型图修订数据集，即将上、下截断点分别认定为变量的最大值与最小值，将异常值修订为上、下截断点值。对指标数据运用极值标准化法进行无量纲处理，并考虑指标正负向对脆弱值计算的差异，即正向型指标公式(1)处理；负向型指标采用公式(2)处理。

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)} \tag{1}$$

$$(i=1,2,\cdots,m;\ j=1,2,\cdots,n)$$

$$x'_{ij}=\frac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)} \tag{2}$$

$$(i=1,2,\cdots,m;\ j=1,2,\cdots,n)$$

式中：$m$项指待评价样本，$n$为评价指标，$x_{ij}$则为第$i$样本第$j$个指标的值，$x'_{ij}$为相应的标准化值。

### 2.3 脆弱性评估模型

**2.3.1 指标聚合与权重确定** 脆弱性复合指数集成过程常采用加权或无权重数学运算两种途径，采用无(平均)权重变量进行集成函数运算是脆弱性评估领域应用较为广泛的方法。相比于加权变量，无权重变量不会改变复合指数传达的信息，且更容易被理解[22]。因此，评估模型中因子层、子系统层聚合将采用平均权重处理。

**2.3.2 逼近理想解的排序法** 逼近理想解的排序方法(TOPSIS)是多目标决策分析的常用方法，主要根据研究对象与最优解和最劣解的距离进行相对优劣的评价[14,23]。本文将采用TOPSIS法进行乡村人居环境综合及子系统脆弱性评估，基本步骤如下:

(1) 构建无量纲数据矩阵$(x'_{ij})_{m\times n}$，其中$m$代表65个评价对象，$n$代表25个评价指标，$x'_{ij}$为标准化后的指标值。

(2) 确定最优解和最劣解$X^+$和最劣解$X^-$。计

表1 微尺度乡村人居环境系统脆弱性测度指标体系

Tab. 1 Measure index system of RHS vulnerability at microscale

| 子系统层 | 因子层 | 具体指标 | 指标说明与赋值 | 方向 |
|---|---|---|---|---|
| 自然系统脆弱性 $Y_1$ | 造林绿化 $X_1$ | 林地比重/% | 林地与全部土地之比 | − |
| | 土地耕作 $X_2$ | 荒地比重/% | 放弃耕作土地与全部土地之比 | − |
| | 风沙灾害 $X_3$ | 沙尘灾害干扰/级 | 五点量表赋值:1低,2较低,3中等,4较高,5高 | + |
| | 化肥污染 $X_4$ | 地均化肥用量/袋·hm$^{-2}$ | 化肥用量与实际耕作土地之比 | + |
| | 河渠水体 $X_5$ | 河渠水质/级 | 五点量表赋值:1常年清澈,2相对干净,3断流、无河流,4常年浑浊,5黑臭水体 | + |
| 人类系统脆弱性 $Y_2$ | 受教育程度 $X_6$ | 劳动力受教育程度/级 | 劳动力受教育程度之和/劳动力数;五点量表赋值:1文盲,2小学,3初中或中专,4高中或大专,5大学本科及以上 | − |
| | 人口负担 $X_7$ | 抚养比/% | 非劳动年龄人口/劳动年龄(15−64岁)人口 | + |
| | 家庭规模 $X_8$ | 户均人口/人·户$^{-1}$ | 户籍总人口/户数 | − |
| | 人口萧条度 $X_9$ | 村庄人口萧条等级/级 | 五点量表赋值:1人多且结构均衡,2结构均衡,3青年与儿童较少,4几乎无年轻人,5仅老弱人口 | + |
| | 人口活力 $X_{10}$ | 村庄传统节日氛围/级 | 五点量表赋值:1冷清,2没感觉,3一般,4具有节日氛围,5非常热闹 | − |
| 居住系统脆弱性 $Y_3$ | 房屋结构 $X_{11}$ | 房屋结构脆弱等级/级 | 五点量表赋值:1楼房,2平房,3石窑,4土窑,5危房 | + |
| | 住房宽敞度 $X_{12}$ | 人均住房间数/间·人$^{-1}$ | 家庭人均房屋间数的样本均值 | − |
| | 耐用消费品 $X_{13}$ | 耐用消费品拥有指数/度 | 家庭拥有消费品叠加值的样本均值;消费品赋值:1风扇、洗衣机、电视、冰箱,2摩托、自行车,3汽车、热水器、空调、电脑 | − |
| | 通讯条件 $X_{14}$ | 家庭最佳通讯设备/级 | 四点量表赋值:1无,2固定电话,3老式手机,4智能手机 | − |
| | 生活用水 $X_{15}$ | 取水困难指数/度 | 距取水点公里数与取水方式值之和的样本均值;取水方式赋值:1入户自来水或井水,2未入户井水,3外出提水,4收集雨水 | + |
| 支撑系统脆弱性 $Y_4$ | 小学教育 $X_{16}$ | 距最近小学距离 / km | 若小学位置于所在行政村范围内,则赋值为0.5km | + |
| | 乡村医生 $X_{17}$ | 拥有驻村医生数/人 | 行政村范围内医生与可上门看诊的村外医生总数 | − |
| | 道路建设 $X_{18}$ | 路网脆弱指数/度 | 通村公路技术等级与铺装等级乘积;公路技术等级赋值:1省道,2县道,3乡道,4村道及以下。铺装等级赋值:1硬化,2未硬化 | + |
| | 零售商店 $X_{19}$ | 零售商店数/间 | 行政村范围内小卖部或杂货铺总数 | − |
| | 垃圾处置 $X_{20}$ | 生活垃圾处置/级 | 四点量表赋值:1倒入垃圾池、专人清运,2就地集中焚烧或掩埋,3集中堆积、无处理,4随意扔置或倾倒入河 | + |
| 社会系统脆弱性 $Y_5$ | 生计多样性 $X_{21}$ | 生计多样性水平/类 | 家庭生计类型计数的样本均值;生计类型分为农业、林业、牧业、务工、经营性、事业性等6类 | − |
| | 收入水平 $X_{22}$ | 人均收入水平/元 | 总收入/户籍总人数 | − |
| | 社会治安 $X_{23}$ | 村庄治安环境/级 | 五点量表赋值:1很差,2较差,3一般,4较好,5很好 | − |
| | 政府管理 $X_{24}$ | 基层事务处理能力与服务态度/级 | 五点量表赋值:1态度、能力均差,2冷淡且能力一般,3态度好但办事难,4态度好、需跑多次,5态度好、办事及时 | − |
| | 贫富差距 $X_{25}$ | 家庭贫富差距/级 | 五点量表赋值:1很小,2较小,3一般,4较大,5很大 | + |

注:① 样本点值为样本问卷的均值;② 道路建设($X_{18}$)数据来源于各时期交通路网图及道路明细表;③ 生计多样性($X_{21}$)将生计细分为种植业、林业、畜牧业、务工生计(含常年务工与打零工)、事业性生计(就职于政府部分或事业单位)、非农经营活动共6类生计,以体现所依赖自然资源以及对劳动力自身能力要求的差异

算公式如下:

$$X^{+}=\left(x_j^{+}\right)_{1*n};\ X^{-}=\left(x_j^{-}\right)_{1*n};\qquad(3)$$

(3) 计算各评价样本与最优值和最劣值之间的距离。计算公式如下:

$$d_i^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(x'_{ij}-x_j^{+}\right)^2};\ d_i^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}w_j\left(x'_{ij}-x_j^{-}\right)^2}\qquad(4)$$

(4)计算各评价样本与最优值的贴近度 $V_i$,即脆弱性值。$V_i$越大,表示评价样本脆弱性值越大。公式如下:

$$V_i=\frac{d_i^{-}}{d_i^{-}+d_i^{+}}\quad(i=1,\ 2,\ \cdots,\ n)\qquad(5)$$

**2.3.3 脆弱性等级划分** 基于TOPSIS确定的样本子系统、综合系统脆弱性值($V_i$),$V_i$取值于0和1之间,据此设定综合及子系统脆弱性强弱分界点,划定脆弱性等级。其中,$V_i$=1表示系统绝对脆弱,$V_i$=0表示系统零脆弱,系统处于完全健壮状态。脆弱性

等级划分区间见表2。

### 2.4 变异系数分析法

变异系数为地理数据空间差异研究的常用方法，本文将采用变异系数分析法测度4个时期乡村人居环境系统及子系统的空间差异程度。计算公式如下：

$$CV=\frac{1}{\bar{V}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}\left(V_i-\bar{V}\right)^2}{m-1}}\times 100\%,\ i=1,2,3,\cdots m \quad (6)$$

式中：$CV$为变异系数，$\bar{V}$为各样本点系统脆弱性值的平均值，$V_i$为各样本点$i$脆弱性值，$m$为样本点数。变异系数越小，表明研究区内部脆弱性格局越均衡。

## 3 结果分析

### 3.1 脆弱性等级与空间差异变化

由表3可知，研究区综合系统、居住子系统均自2000年高脆弱样本点开始持续减少，自2008年始大幅减少，均超过60个百分点。至2017年，仅剩24.62%的样本村处于综合系统高脆弱状态，1.54%样本村庄处于居住系统高脆弱状态。自然、社会系统高脆弱样本村庄稳步减少，自2000年始减少幅度逐步增大，至2017年高脆弱样本村庄比重已减少至30%左右。另一方面，支撑系统与人类系统是现阶段亟待关注的系统。支撑系统高脆弱样本村庄持续小幅减少，但仍有66.15%的样本村庄处于高脆弱状态。而人类系统脆弱状态恶化趋势明显，1980s仅1.54%的样本村处于高脆弱状态，2000—2017年间处于高脆弱状态的样本村增加超70个百分点，已达到75.38%。此外，综合系统、五大子系统空间差异度仍呈现不同幅度的扩大趋势。其中自然、支撑系统空间差异度均已超过20%，其中自然系统在2008—2017年上升了15个百分点。综合系统、居住系统空间差异度逐步增大至15%左右，人类、社会系统脆弱性的空间差异度小幅增加，1980s至今仅上升3个百分点。

### 3.2 微尺度脆弱性时空分异

**3.2.1 综合系统脆弱性** 研究区RHS综合系统由空间重度脆弱全局覆盖演化至较低脆弱为主体，均值由0.66逐渐降至0.45（图2）。1980s，除黄河沿岸的传统村落木头峪外，其余村庄脆弱性处于重度或极端等级。至2000年，集镇、主干道沿线以及黄河沿岸村庄的脆弱等级下降至高度脆弱。此后，得益于移民搬迁、退耕还林还草、村村通等工程，绝大部分样本村的脆弱性减轻，但部分村庄脆弱性加重。2008年至今，RHS脆弱性全面减轻，空间上形成了两类片区，一类以方塌镇马能峁、朱家坬镇何家坬、乌镇紫圪堵坪为顶点的三角片区，高度脆弱等级村庄集聚，农业生产以粮食作物种植为主；一类为三角外部片区，其内村庄基本处于中度及以下脆弱状态，邻近县城的村庄已演变为低度脆弱或健壮等级。

**3.2.2 子系统脆弱性**

（1）自然系统。由高、重度脆弱全局占领演化至高低脆弱等级分侧而立，健壮等级集聚于东南部的新格局，脆弱性显著减轻，均值由0.60降至0.42（图3）。1980s，北部风沙片区完全被重度、极端脆

表2 微尺度乡村人居环境系统脆弱性等级划分

Tab. 2 A hierarchical table of RHS vulnerability values at microscale

| 脆弱性等级 | 健壮 | 低度 | 中度 | 高度 | 重度 | 极端 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_i$区间 | 0 ~ 0.30 | 0.301 ~ 0.40 | 0.401 ~ 0.50 | 0.501 ~ 0.60 | 0.601 ~ 0.70 | 0.701 ~ 1 |

表3 研究区乡村人居环境系统脆弱性值统计与空间差异度

Tab. 3 Statistics and spatial difference degree of vulnerability of RHS in study area

| | 高脆弱($V_i$ > 0.5)样本点比重 / % | | | | 空间差异度 / % | | | | 脆弱性均值/度 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1980s | 2000年 | 2008年 | 2017年 | 1980s | 2000年 | 2008年 | 2017年 | 1980s | 2000年 | 2008年 | 2017年 |
| 综合系统 | 100 | 100 | 87.69 | 24.62 | 3.99 | 6.30 | 11.02 | 15.31 | 0.66 | 0.60 | 0.57 | 0.45 |
| 自然系统 | 89.23 | 80 | 67.69 | 30.77 | 11.07 | 13.53 | 14.81 | 30.77 | 0.60 | 0.57 | 0.54 | 0.42 |
| 人类系统 | 1.54 | 4.62 | 35.38 | 75.38 | 9.21 | 10.69 | 11.99 | 13.01 | 0.42 | 0.43 | 0.48 | 0.54 |
| 居住系统 | 100 | 100 | 73.85 | 1.54 | 5.83 | 8.35 | 11.72 | 17.88 | 0.80 | 0.70 | 0.55 | 0.38 |
| 支撑系统 | 96.92 | 89.23 | 84.62 | 66.15 | 6.79 | 12.54 | 19.47 | 21.61 | 0.62 | 0.58 | 0.61 | 0.55 |
| 社会系统 | 95.38 | 84.62 | 55.38 | 32.31 | 8.28 | 10.68 | 11.27 | 11.25 | 0.59 | 0.56 | 0.51 | 0.47 |

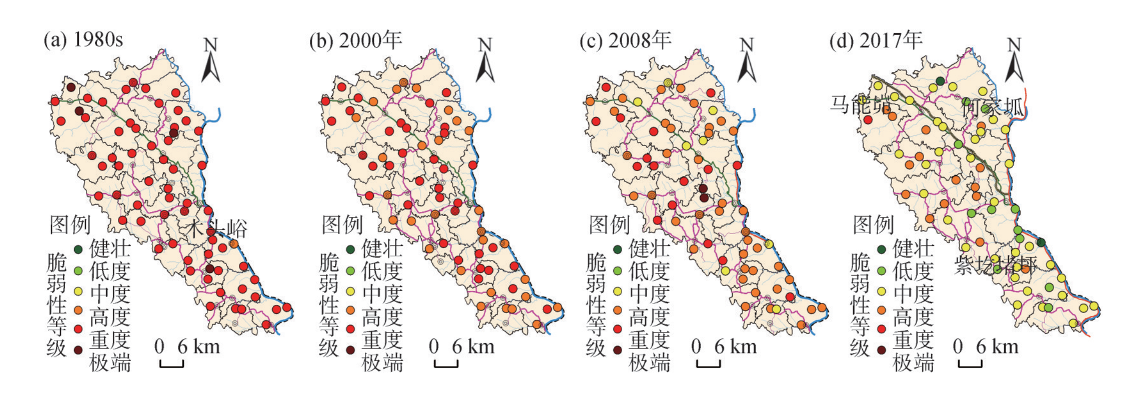



图2 研究区RHS综合脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 2 Spatial and temporal pattern of comprehensive vulnerability of RHS in study area

弱等级所占据,县南端集聚了中度脆弱等级的样本村。至2000年,西南丘陵片区内脆弱性减轻与加重并存。2000—2008年间,得益于生态保护与修复工程自然子系统脆弱性大范围内减轻。此后,气候变化下研究区秋季淫雨致使枣林大规模减产,市场趋冷又使枣果滞销,枣林生计无法持续,农户普遍弃耕弃肥,森林植被得以自然恢复,自然子系统脆弱性均值大幅下降至0.42。主要表现为:极端脆弱等级已消失,高度及重度脆弱等级的样本村比重缩小至1/3,涌现了较大比例的健壮及低度脆弱等级。形成了以朱家坬镇何家坬—乌镇任家坪连线为中度脆弱带,以东为低度脆弱及健壮等级占据,以西为高度、重度脆弱等级的新格局。

(2) 人类系统。由低、中度脆弱相间分布演化至高度以上脆弱全面覆盖、中度等级零星分布的格局,脆弱性均值由0.42持续上升至0.54(图4)。1980s以中度脆弱等级为主导,低度脆弱等级均匀分布。至2000年,低度脆弱等级分布范围缩小至东南黄河沿岸片区,人口出生率骤降至10‰以下,男女性别比突破110%。格局转变发生于2000—2008年间,此后,境内村庄人类子系统脆弱性呈现全面加重态势,人类子系统急剧恶化。至2017年,仅省道沿线或集镇所在村庄属中度及以下脆弱等级,部分偏远或(乡)镇边界的村庄已恶化成重度、极端脆弱等级。

(3) 居住系统。脆弱性逐渐减轻、趋于健壮,脆弱性均值由0.80持续大幅降至0.38。呈现了由全局极端脆弱演化至以低度脆弱为主体的格局分异过程(图5)。至2000年,近1/2的样本村脆弱性减轻至重度脆弱等级,东南沿岸土石山区仍被极端脆弱占据。2008年,得益于移民搬迁、饮水安全等民心工程,居住系统脆弱性持续减轻、等级下降,重度、极端脆弱等级仅零星散落于西南丘陵沟壑区。现今,居住环境有了质的飞跃,低度脆弱性等级集聚而成"S"型分布带,健壮等级村庄沿交通干线分布。北部风沙区内村庄几乎均减轻至低度脆弱或健壮等级。

(4) 支撑系统。脆弱性均值由0.62下降至0.55,空间格局由1980s的重度脆弱等级均匀分布向

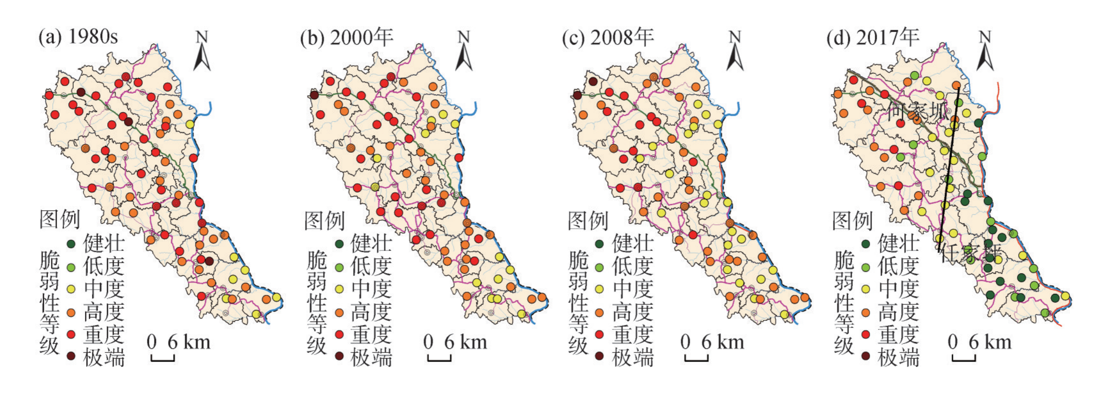



图3 研究区RHS自然子系统脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 3 Spatial and temporal pattern of natural subsystem vulnerability of RHS in study area

极端分异演变(图6)。获益于“村村通”等民心工程，至2000年支撑系统脆弱性全面减轻，属镇(乡)行政中心驻地的5个样本村减轻至中、低脆弱等级。至2008年，脆弱性均值反弹至0.61，样本村几乎被极端、重度、高度脆弱等级以1:1:2的比例割据。此后，支撑系统脆弱性空间分异增大，健壮至极端脆弱6类等级的样本村在空间上间隔分布。偏远乡村的儿童就读、出行、物资呈极端脆弱，2/3的样本村(传统农业型)持续于高度及以上等级，而中度脆弱及以下等级集中分布于省道、沿黄公路沿线，或属于具备镇(乡)行政中心、集镇功能的样本村。

(5)社会系统。脆弱性均值由0.59持续下降至0.47，绝大部分村庄社会脆弱性减轻，但多徘徊于中、高度等级。呈现了由高、重度脆弱相间分布演化至以中度脆弱为主的时空格局(图7)。其中，2000年，重度脆弱等级分布缩小至县境南部，高度

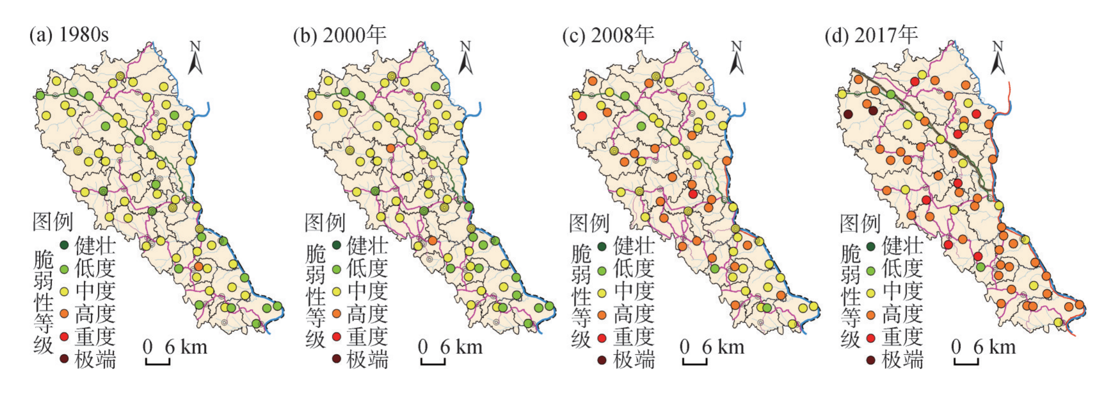



图4 研究区RHS人类子系统脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 4 Spatial and temporal pattern of human subsystem vulnerability of RHS in study area

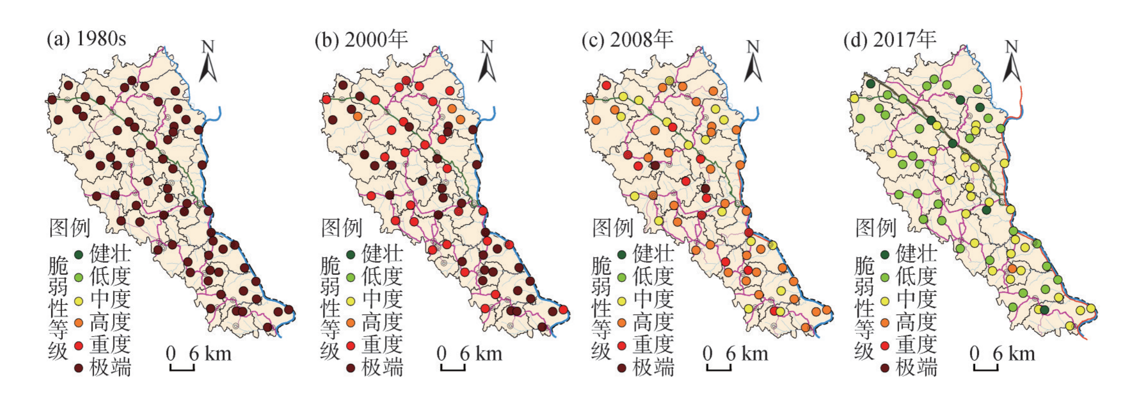



图5 研究区RHS居住子系统脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 5 Spatial and temporal pattern of dwelling subsystem vulnerability of RHS in study area

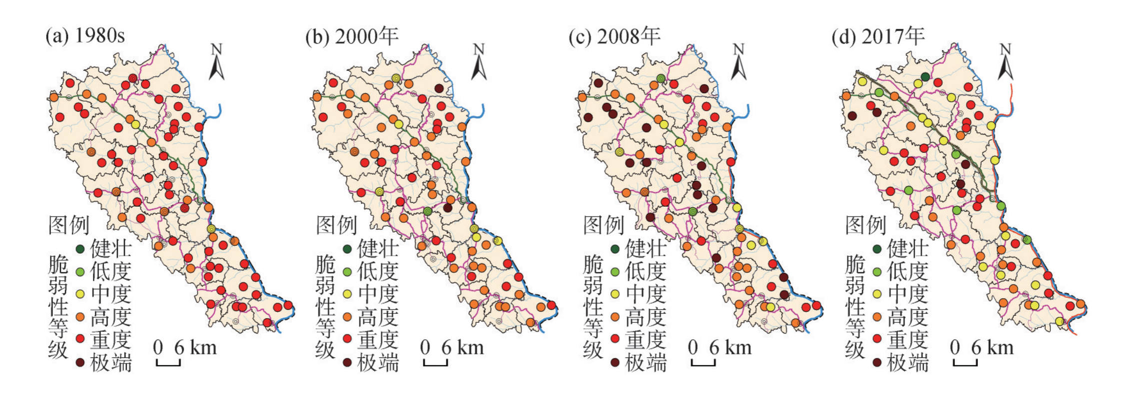



图6 研究区RHS支撑子系统脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 6 Spatial and temporal pattern of support subsystem vulnerability of RHS in study area

脆弱等级仍广泛分布。此外,4个镇(乡)级行政中心驻地村庄脆弱性减轻至中度脆弱等级。2008年,中度脆弱等级样本村已广泛分布于县境中、北部。县南部仍以高、中度脆弱等级为主。2010年至今,沿黄公路县境南段贯通,沿线村庄社会系统脆弱性多减轻至中、低度脆弱等级。此外,北部风沙区内样本村的脆弱性始终低于其他片区,表明邻近榆林市区、神木县的北部风沙区乡村社会系统发展始终优于县境其他地区。

## 4 讨论

文章从人地系统脆弱性视角切入,基于农户参与构建了涵盖自然、人类、居住、支撑与社会子系统,共25个因子的微尺度指标体系。以佳县为例,探讨了4个时期乡村人居环境系统脆弱性的时空格局演变。佳县宏观尺度乡村人居环境系统演变研究指出人居环境系统脆弱经历1980—1995年,1996—2005年,2006—2009年,2010年至今等4个特征阶段,居住、社会系统脆弱性全面减轻,支撑系统脆弱性反弹加剧,人类系统已走向重度脆弱等级[19]。而本研究所选择的4个典型时期与宏观尺度4个特征阶段相契合,表明微尺度研究中的历史时期选择具有代表性,同时关于自然、居住、人类、社会、支撑系统脆弱性的演化趋势与宏观尺度基本保持一致。陈佳[15]、鲁大铭[18]通过研究县域尺度人地系统脆弱性显示佳县在2000—2013年间社会、生态系统脆弱性显著降低。曾菊新等人指出1998—2012年间武陵山区利川市乡村人居环境综合质量上升,并指出微尺度乡村人口向盆地、低山区集中,人均纯收入垂直差异缩小态势[3]。上述研究对宏观人地系统脆弱性、乡村人居环境质量演变进行了探讨,研究结果指出乡村人居环境质量上升,自然、社会脆弱性显著下降,与本研究结论综合人居环境系统,以及自然、居住、社会子系统脆弱性显著减轻基本一致。表明改革开放以来,乡村地区自然、居住、社会领域的人居环境建设成效显著。此外,李伯华等[8]、雒占福等[9]利用入户问卷调查的方式对典型研究区中微观尺度乡村人居环境的满意度进行了评价。结果显示不同研究区自然环境、居住环境满意度差异较大,但对基础设施建设的满意度一致较高。上述中微尺度研究中仅探讨了研究区调查当年的人居环境状态,而未对其时空分异过程进行讨论。本文则基于4个典型时期,65个样本点探讨了1980—2017年研究区的乡村人居环境系统脆弱性的时空分异过程。研究结果既表明除人类子系统脆弱性升高外,综合系统以及其余子系统脆弱性呈现不同幅度的减轻趋势,又指出研究区的空间分异度增大,呈现了支撑系统空间格局动荡,低等级的脆弱性集中于交通干线沿线村、集镇所在村,人类系统由低脆弱性全局分布逐步恶化至高脆弱性为主的格局,其余系统均由高脆弱性全局覆盖逐步减轻至以低脆弱性分布为主的时空格局。

## 5 结论

(1) 微尺度乡村人居环境系统脆弱性均值由0.66持续下降至0.45,高脆弱样本村庄比重减少75个百分点。自然、社会子系统脆弱性均值分别下降至0.42、0.47,高脆弱村庄比重均持续降至30%左右,而居住子系统由0.80大幅下降至0.38,高脆弱村庄比重极低,仅为1.54%。人类子系统脆弱性均值

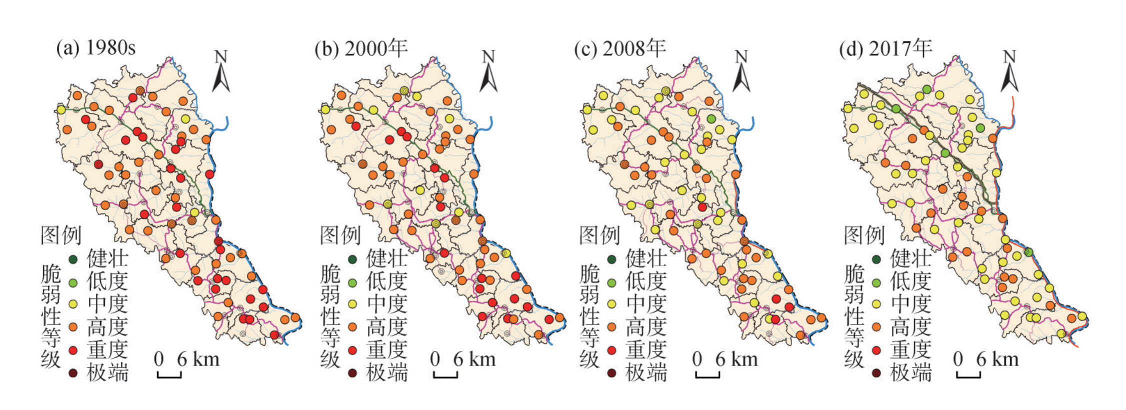



图7 研究区RHS社会子系统脆弱性的时空格局(1980—2017年)

Fig. 7 Spatial and temporal pattern of social subsystem vulnerability of RHS in study area

持续上升至0.54，支撑子系统则始终稳定于0.55的高位，两者高脆弱村庄比重均超过2/3。

（2）综合系统及五大子系统脆弱性的空间差异度不同幅度扩大。自然系统空间差异度高达30.77%，支撑系统次之，达到21.61%。人类系统空间差异度小幅上升至13.01%，社会系统始终保持于10%左右。

（3）综合系统，以及自然、居住、社会子系统均由高脆弱样本村占据转向以低脆弱样本村为主体的格局，研究区东南部样本村的自然系统已演化至健壮等级，邻近榆林市区、神木市的北部风沙区社会系统脆弱性始终低于南部。另一方面，人类系统由低、中度脆弱等级样本村相间分布演变至高度脆弱全面覆盖、中度等级零星散落的格局。支撑系统由1980s的重度脆弱等级均匀分布向极端分异演变，中度及以下脆弱等级多属于省道、沿黄公路沿线，或属于具备镇（乡）行政中心、集镇功能的样本村。

## 参考文献（References）


[1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版, 2001:38-95. [WU Liangyong. Introduction to science of human settlements[M]. Beijing: China Architectural Building Press, 2001: 38-95.]

[2] 阿依努尔·买买提, 时丕龙, 赵改君, 等. 基于GIS的新疆和田地区人居环境适宜性评价[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 847-855. [MAMAT Aynur, SHI Pilong, ZHAO Gaijun, et al. Evaluations of living environment suitability of Hotan Prefecture in Xinjiang based on GIS[J]. Arid land Geography, 2012, 35(5): 847-855. ]

[3] 曾菊新, 杨晴青, 刘亚晶, 等. 国家重点生态功能区乡村人居环境演变及影响机制——以湖北省利川市为例[J]. 人文地理, 2016, 31(1): 81-88. [ZENG Juxin, YANG Qingqing, LIU Yajing, et al. Research on evolution and influential mechanism for rural human settlement in national key ecological function areas: A case of Lichuan[J] . Human Geography, 2016, 31(1): 81-88. ]

[4] 王成, 李颢颖, 何焱洲, 等. 重庆直辖以来乡村人居环境可持续发展力及其时空分异研究[J]. 地理科学进展, 2019, 38(4): 556-566. [WANG Cheng, LI Haoying, HE Yanzhou, et al. Sustainable development ability and its spatiotemporal differentiations of rural human settlements in Chongqing Municipality from 1997 to 2015 [J]. Progress in Geography, 2019, 38(4): 556-566. ]

[5] 宋永永, 薛东前, 代兰海. 生态脆弱能源区人居环境与经济协调发展时空格局及演化机制——以晋陕蒙接壤区为例[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1328-1337. [SONG Yongyong, XUE Dongqian, DAI Lanhai. Spatial-temporal pattern and evolution mechanism of coordinated development of human settlement environment and economy in energy accumulation and vulnerable ecology regions: A case of contiguous areas among Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(6): 1328-1337.]

[6] GILBERT A, COLLEY K, ROBERTS D. Are rural residents happier? A quantitative analysis of subjective wellbeing in Scotland[J]. Journal of Rural Studies, 2016, 44: 37-45.

[7] EASTERLIN R A, ANGELESCU L, ZWEIG J S. The impact of modern economic growth on urban-rural differences in subjective well-being[J]. World Development, 2011, 39(12): 2187-2198.

[8] 李伯华, 刘传明, 曾菊新. 乡村人居环境的居民满意度评价及其优化策略研究——以石首市久合垸乡为例[J]. 人文地理, 2009, 24(1):28-32. [LI Bohua, LIU Chuanming, ZENG Juxin. An evaluation on the satisfaction degree and optimization strategy of rural human settlements: A case study of Jiuheyuan Town in Shishou City[J]. Human Geography, 2009, 24(1): 28 - 32. ]

[9] 雒占福, 范圆圆, 杨哲, 等. 甘南藏区游牧民定居工程满意度研究——以夏河县为例[J]. 干旱区地理, 2019, 42(3): 636-644. [LUO Zhanfu, FAN Yuanyuan, YANG Zhe, et al. Satisfaction degree of herdsmen settlement project in Southern Gansu Tibetan area: A case of Xiahe County[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(3): 636-644. ]

[10] 王子侨, 石育中, 杨新军, 等. 外部社会资本视角下的黄土高原农户生活满意度研究——以陕西省长武县洪家镇为例[J]. 干旱区地理, 2017, 40 (6): 1317-1327. [WANG Ziqiao, SHI Yuzhong, YANG Xinjun, et al. Impact of social capital on the ryral households' life satisfaction in the loess plateau: A case of Hongjia Town in Changwu County[J]. Arid Land Geography, 2017, 40 (6): 1317-1327. ]

[11] 李伯华, 曾荣倩, 刘沛林, 等. 基于CAS理论的传统村落人居环境演化研究——以张谷英村为例[J]. 地理研究, 2018, 37(10): 1982-1996. [LI Bohua, ZENG Rongqian, LIU Peilin, et al. Human settlement evolution of traditional village based on theory of complex adaptive system: A case study of Zhangguying village[J]. Geographical Research, 2018, 37(10): 1982-1996. ]

[12] 鄢方卫, 杨效忠, 舒伯阳, 等. 乡村旅游地人居环境演变过程与机制研究——以徽杭古道为例[J]. 旅游学刊, 2019, 34(10): 93-105. [YAN Fangwei, YANG Xiaozhong, SHU Boyang, et al. A study on the evolution process and mechanism of human settlement environment in rural tourist destinations: Taking Huihang Road as an example[J]. Tourism Tribune, 2019, 34(10): 93-105.]

[13] TURNER II B L, KASPERSON R E, MATSON P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. PNAS, 2003, 100(14): 8074-8079.

[14] 温晓金, 杨新军, 王子侨. 多适应目标下的山地城市社会—生态系统脆弱性评价[J]. 地理研究, 2016, 35(2): 299-312. [WEN Xiaojin, YANG Xinjun, WANG Ziqiao. Assessment on the vulnerability of social-ecological systems in a mountainous city depending on multi-targets adaption[J]. Geographical Research, 2016, 35 (2): 299-312. ]

[15] 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于VSD框架的半干旱地区社会—生态系统脆弱性演化与模拟[J]. 地理学报, 2016, 71(7): 1172-1188. [CHEN Jia, YANG Xinjun, YIN Sha, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(7): 1172-1188. ]
[16] 黄晓军, 王晨, 胡凯丽. 快速空间扩张下西安市边缘区社会脆弱性多尺度评估[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1002-1017. [HUANG Xiaojun, WANG Chen, HU Kaili. Multi-scale assessment of social vulnerability to rapid urban expansion in urban fringe: A case study of Xi′an[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(6): 1002-1017. ]
[17] 哈斯巴根, 佟宝全. 农业地区人地系统脆弱性及其发展模式研究[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 601-608. [Hasibagen, TONG Baoquan. Man-land system vulnerability and development model of agricultural regions[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(3): 601-608. ]
[18] 鲁大铭, 石育中, 李文龙, 等. 西北地区县域脆弱性时空格局演变[J]. 地理科学进展, 2017, 36(4): 404-415. [LU Daming, SHI Yuzhong, LI Wenlong, et al. Spatiotemporal change of vulnerability in counties of northwest China[J]. Progress in Geography, 2017, 36(4): 404-415. ]
[19] 杨晴青, 杨新军, 高岩辉. 1980年以来黄土高原半干旱区乡村人居环境系统脆弱性时序演变——以陕西省佳县为例[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5): 756-771. [YANG Qingqing, YANG Xinjun, GAO Yanhui. Change in vulnerability of rural human settlement in the semi-arid area of the Loess Plateau since 1980: A case study of Jiaxian County, Shaanxi Province[J]. Progress in Geography, 2019, 38(5): 756-771. ]
[20] 武继尧. 我国沿海城市人居环境脆弱性评价[D]. 大连:辽宁师范大学, 2017. [WU Jiyao. Evaluation of China′s coastal city human settlement vulnerability[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2017. ]
[21] 杨晴青, 刘倩, 尹莎, 等. 秦巴山区乡村交通环境脆弱性及影响因素——以陕西省洛南县为例[J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1236-1251. [YANG Qingqing, LIU Qian, YIN Sha, et al. Vulnerability and influencing factors of rural transportation environment in Qinling-Daba mountainous areas: A case study of Luonan County in Shaanxi Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(6): 1236-1251. ]
[22] ANGEON V, BATES S. Reviewing composite vulnerability and resilience indexes: A sustainable approach and application[J]. World Development, 2015, 72: 140-162.
[23] 李东, 邢素珍, 关靖云, 等. 干旱区绿洲荒漠交错带空间贫困分异特征、减贫需求与扶贫对策研究——以新疆和田地区为例[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 933-942. [LI Dong, XING Suzhen, GUAN Jingyun, et al. Differentiation characteristics of spatial poverty, poverty reduction needs and poverty alleviation countermeasures in the oasis and desert ecotone of the arid region: A case of Hotan Prefecture[J]. Arid land Geography, 2019, 42(4): 933-942. ]



# Measurement and spatial-temporal differentiation of vulnerability of microscale rural human settlementsin the semi-arid region of the Loess Plateau:A case study of Jiaxian County, Shaanxi Province

YANG Qing-qing[1], GAO Yan-hui[3], YANG Xin-jun[2], WU Kong-sen[2]

(1 *Northwest Land and Resources Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an* 710119, *Shaanxi, China*; 2 *College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an* 710127, *Shaanxi, China*; 3 *School of Tourism & Research Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an* 710128, *Shaanxi, China*)

**Abstract:** Low rainfall, fragile ecology, and economic poverty are typical characteristics of the Loess Plateau. Jia county of Yulin City, Shaanxi Province, is a typical county in the semi-arid Loess Plateau, and is the main battlefield for ecological restoration and poverty alleviation in China. Following the theory of human-land system vulnerability, using TOPSIS model, this studymeasured the vulnerability value of microscale rural human settlement and natural, dwelling, human, support and social subsystems during the four historical periods from 1980 to 2017 (1980s, 2000, 2008, 2017) based on 65 sample villages, 451 household questionnaires, and 65 thematic questionnaires for key village figures. Additionally, the spatial and temporal differentiation characteristics of vulnerability of rural human settlements in the research area, based on GIS spatial analysis technology, were also discussed,.The study results show the following.(1)The average vulnerability of rural human settlements in the 65 sample villages decreased from 0.66 to 0.45, and the vulnerabilities of dwellings, and natural and social subsystems were significant-

ly reduced, with the mean vulnerability values for dwellings and natural and social subsystems in the 65 sample villages falling to 0.38, 0.42, and 0.47, respectively.However, the mean value of support and human system vulnerability in the 65 sample villages remained unchanged or rose above 0.54. (2)Based on the 65 sample villages, the spatial differences of vulnerability of the comprehensive system and the five subsystems of rural human settlements all showed expanding trends with different ranges. Among these, spatial differences of the integrated system and the dwelling subsystem increased by nearly 12 percentage points to 15.31% and 17.88%, respectively. The natural subsystem (30.77%) had the largest spatial difference, followed by the support subsystem (21.61%), both of which increased by a factor of two compared to the 1980s. The spatial differences in vulnerability of both human and social subsystems increased slightly, rising by only 3 percentage points since the 1980s. (3)The comprehensive system of rural human settlements has evolved from a uniform distribution of severely vulnerable sample villages to a main distribution of sample villages with medium- and low-vulnerability, and 24.62% of the highly vulnerable sample villages existed. Dwelling, natural, and social subsystems all presented similar evolution processes, shifting from a global coverage of high-vulnerability sample villages to a widespread distribution of low-vulnerability sample villages, with only 1.54% of the high-vulnerability villages left in the dwelling subsystem. In contrast, the human subsystem evolved from a main distribution of medium- and low-vulnerability sample villages to a global coverage of high-vulnerability sample villages. Additionally, thespatial pattern of the support system is unstable,with the low vulnerability level concentrated in sample villages located along major traffic lines or in the administrative centers of towns. At present, the proportion of high-vulnerabilitysample villages of human and supporting subsystems have both been exceeded two−thirds. Based on the above findings, this study discusses the temporal and spatial process of rural human settlement vulnerability from the micro scale, which better reflects the development and unbalanced characteristics of rural human settlements. Therefore, this paper suggests that future work should not only focus on the vulnerability of the human and support subsystems, but also on spatial imbalances of the natural, support, and dwelling systems.

**Key words:** rural human settlement; vulnerability; spatial and temporal pattern; TOPSIS model; Jiaxian county